

# 대중교통 카드(RF Card) 자료를 활용한 수도권 도시철도 운영기관 간 수입금 정산 방안

신성일\*

## 〈目 次〉

|                          |                         |
|--------------------------|-------------------------|
| I. 서론                    | IV. 수도권 도시철도 수입금 정산 방법론 |
| II. 대중교통 카드(RF Card)     | 1. Data 가공 및 O/D 구축     |
| 1. 대중교통 카드(RF Card) 이용현황 | 2. 수도권 도시철도 수입금 정산 알고리즘 |
| 2. 대중교통 카드(RF Card) 특성   | V. 사례연구                 |
| 3. 대중교통 카드(RF Card) 자료   | 1. O/D 추출               |
| III. 도시철도 수입금 정산방안 고찰    | 2. 수도권 도시철도 수입금 정산 알고리즘 |
| 1. 기존 연구 고찰              | 3. 수도권 도시철도 수입금 정산 사례   |
| 2. 대중교통체계 개편 후 수입금 정산원칙  | VI. 결론                  |

## I. 서론

### 1. 연구 배경 및 목적

도시철도가 가지고 있는 쾌적성, 편리성 그리고 정시성의 장점은 도시철도의 등장 이후 그 이용률을 어느 수준까지 꾸준히 증가시켜왔다. 이에 따라 지자체를 비롯한 수도권은 지하철의 새로운 도입을 포함한 도시철도의 연장을 점차 증가시켜왔으며, 수도권의 경우 2008년 현재 총 4개의 운영 기관이 총 17개 노선을 운영 중에 있다. 이러한 도시철도의 장점은 2004년 서울시 통합 대중교통개편과 2007년 수도권 통합 환승할인요금제 시행 이후 편리성과 연계성 측면에서 더욱더 부각되고 있다.

하지만 이러한 대중교통 통합요금제의 시행은 그 동안 지하철·전철 운영기관 간의 수입금 정산 문제를 버스와 지하철·전철 문제로까지 확대시켜 좀 더 정확하고 복잡한 정산 방식의 필

\* 서울시정개발연구원 연구위원

요성을 불러일으켰다.

이에 본 연구에서는 수도권 통합 환승할인요금제 시행 이후 대중교통 운영기관 간 수입금 정산 문제를 다루도록 한다. 특히, 대중교통체계 개편 이후 본격적으로 도입된 대중교통 카드(RF Card) 자료를 적극 활용하여 수도권 도시철도 운영기관 간 연락운임 정산에 관한 방법론을 제시하도록 한다.

## 2. 연구 절차 및 방법

본 연구는 대중교통 카드(RF Card) 자료로부터 수도권 도시철도 이용자료(O/D) 구축을 시작으로 일반화 비용 추정, 수입금 정산 알고리즘 제안, 끝으로 이를 반영한 사례 연구로 구성되어 있다.

특히 본 연구의 주안점인 대중교통 카드(RF Card) 자료의 수입금 정산을 위한 활용 방법론에 관해 구체적으로 언급하도록 하며, 실제 본 연구에서 제안한 수입금 정산 방법론의 타당성을 위해 실제 대중교통 카드(RF Card)로부터 도출된 O/D와 수도권 지하철·전철 네트워크를 통해 사례 분석을 실시하도록 한다.

## II. 대중교통 카드(RF Card)

### 1. 대중교통 카드(RF Card) 이용현황

대중교통카드는 1996년 현금지불에 대한 부담과 승차시간 지체의 해소를 위해 서울지역 시내 버스에 처음 도입되어 전국 여러 도시에서 사용되고 있다. 이렇게 도입된 대중교통카드는 꾸준한 이용률 증가를 보였으며, 서울시의 경우 2004년 12월말 기준으로 버스는 71%, 지하철은 52%, 부산의 경우 버스는 63%, 지하철은 57%의 이용률을 보였다.

### 2. 대중교통 카드(RF Card) 특성

2007년 7월 수도권 대중교통 통합환승요금할인제 시행과 함께 그 이용률이 확대된 대중교통 카드는 그 이용에 대한 정보가 전산을 통해 이루어지므로 사람이 조사하는 방식에 비해 정확성과 신뢰성이 높다고 할 수 있다.

또한 설문조사와 같은 직접조사가 아닌 기 구축된 교통카드시스템을 이용하므로 비용이 저렴하고, 모든 시간대 및 광범위한 지역에 걸친 자료 취득이 가능하다. 대중교통 카드(RF Card) 자료에는 버스정보와 철도정보가 함께 포함되어있어 실질적 O/D 구축이 가능하다.

〈표 1〉 시·도별 카드이용률 현황(2004. 12월말)

| 구분 | 현금/카드 사용비율(%) |       |
|----|---------------|-------|
|    | 버스            | 지하철   |
| 서울 | 29:71         | 48:52 |
| 부산 | 37:63         | 43:57 |
| 대구 | 57:43         | 68:32 |
| 인천 | 28:72         | 46:54 |
| 광주 | 44:56         | 66:34 |
| 대전 | 58:42         |       |
| 울산 | 47:53         |       |
| 경기 | 54:46         |       |
| 강원 | 85:15         |       |
| 충북 | 86:14         |       |
| 충남 | 85:15         |       |
| 전북 | 82:18         |       |
| 전남 | 81:19         |       |
| 경북 | 80:20         |       |
| 경남 | 70:30         |       |
| 제주 | 72:25         |       |

주: 현금에는 승차권 포함

자료: 건설교통부, “대중교통기본계획 수립”, 2006.

〈표 2〉 교통카드이용자료 활용방안의 장점

| 장점  | 내용                            |
|-----|-------------------------------|
| 정확성 | 수집 자료의 정확성 및 신뢰성 증대           |
| 경제성 | 조사비용의 획기적 절감                  |
| 지역성 | 모든 시간대 및 광범위한 지역에 걸친 자료 취득 가능 |
| 단축성 | 실시간 자료구축 또는 자료취득 시간의 단축       |
| 활용성 | 통행목적 파악을 위한 자료의 활용가능성 증대      |
| 확장성 | 방대한 자료 수집 가능 및 향후 정보 확장 가능    |
| 안전성 | 안전사고 및 돌발 상황 예방               |
| 범용성 | 다양한 목적으로의 교통카드 사용 가능          |

자료: 대중교통정책수립을 위한 교통카드자료 활용방안, 한국 교통연구원, 2006

## 3. 대중교통 카드(RF Card) 자료

대중교통카드 자료는 총 18개의 항목으로 구분되며 개별 정보는 <표 3>과 같다.

<표 3> 버스와 철도의 교통카드 정보

|    | 수록 정보      | 내용                          | 실제 버스 Data                               | 실제 철도 Data                              |
|----|------------|-----------------------------|--|---|
| 1  | D/**/암호화ID | 개인 정보 암호화                   | 2605n3R5rWsLw<br>YZeeHDmpNqA<br>AyNnh2I= | 260y9FwH2nUTv<br>MeBOA2Pvj1LlpT<br>O5A= |
| 2  | 일일카드번호     | 일별 최초 사용 시 해당카드에 부여되는 번호    |  |   |
| 3  | 카드종류       | 카드회사별 번호로 분류                |  |   |
| 4  | 출발시간       | 사용자가 승차 시 단말기에 카드를 접촉한 시각   | 20071117075419                           | 20071117072746                          |
| 5  | 트랜잭션ID     | 환승을 구분하기 위한 ID              | 011                                      | 054                                     |
| 6  | 수단         | 지하철과 버스유형별 부여된 ID           | 115                                      | 200                                     |
| 7  | 환승횟수       | 하차태그 후 30분 이내에 다시 승차한 횟수    | 0  | 0                                       |
| 8  | 버스노선ID     | 버스노선별로 부여되는 ID [지하철 없음]     | 11110063                                 | -                                       |
| 9  | 교통사업자ID    | 사업자별로 부여 ID, 지하철은 호선정보 수록   | 111007100                                | 211200000                               |
| 10 | 버스차량ID     | 버스 차량별로 부여되는 ID [지하철 없음]    | 111707938                                | -                                       |
| 11 | 사용자구분코드    | 초등학생, 청소년, 일반인을 구분하는 코드     | 01                                       | 04                                      |
| 12 | 운행출발일시     | 버스가 중점에서 운행을 출발한 시각[지하철 없음] | 20071117071845                           | -                                       |
| 13 | 승차정류장ID    | 승차한 정류장에 부여된 ID             | 0008435                                  | 2561                                    |
| 14 | 도착일시       | 하차시 단말기에 카드를 접촉한 시각         | 20071117081828                           | 20071117074606                          |
| 15 | 하차정류장ID    | 하차한 정류장에 부여된 ID             | 0009199                                  | 2558                                    |
| 16 | 이용객수       | 하나의 카드로 지불한 이용객 수           | 1  | 1                                       |
| 17 | 승차금액       | 승차시 지불된 금액                  | 900                                      | 720                                     |
| 18 | 하차금액       | 하차시 지불된 추가요금                | 0  | 0                                       |

### III. 도시철도 수입금 정산방안 고찰

#### 1. 기존 연구 고찰

국내에서 2004년 서울시 대중교통체계 개편이전에 1980년대부터 전철·지하철 간 연락운임 정산방안에 관한 연구는 몇 차례 시행된 바는 있으나, 개편 이후에는 신성일·노현수·조종석(2005)과 윤지현·김성수(2007)의 연구 정도가 있다고 할 수 있다.

국외에서는 Rinks(1986)가 다수의 교통시스템 간 환승을 포함한 승객으로부터 얻은 공동수입 배분방안에 관해 연구하였으며, Dimitrios A. et al(1986)은 통합요금제 하에서의 대중교통 운영기관 간 수입금 정산에 관한 모형을 제시하기도 하였다.

〈표 4〉 기존 연구 고찰

| 연구자  | 연구 내용   |
|--|---|
| 수도권 전철·지하철 연락 운임 정산을 위한 조사 연구<br>(국토연구원, 1987)                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>1, 2, 3, 4호선, 경인선, 경부선, 경원선</li> <li>7가지 연락운임 배분방안 분석 및 검토</li> <li>연락수입 정산방법은 정산대상 총액 선정, 정산기관의 선정, 정산비율의 선정과정으로 집약</li> <li>전철:지하철 = 57.9%: 42.1%로 배분제안</li> </ul>   |
| 수도권 전철과 지하철의 운임제도 개선 및 연락운임 정산 방안 연구<br>(한국교통연구원, 1995)        | <ul style="list-style-type: none"> <li>1, 2, 3, 4호선, 경인선, 경부선, 경원선, 과천선</li> <li>최소역수 통행행태를 가정하여 운영기관별 인·Km, 운영기관별 인·Km당 운송원가, 현행요금수준을 적용변수로 선정</li> <li>9가지 분석대안별로 7단계의 정산절차 수행 후 결과 비교</li> <li>초과운임만을 인·Km를 변수로 하여 정산제안</li> </ul>                       |
| 수도권 전철과 지하철의 운임제도 개선 및 연락운임 정산 방안 연구<br>(한국교통연구원, 1998)        | <ul style="list-style-type: none"> <li>1, 2, 3, 4, 5호선, 경인선, 경부선, 경원선, 과천선, 일산선</li> <li>1995년도 연구에 5호선과 일산선 추가하여 연구</li> </ul>   |
| 수도권 도시철도 수입금 정산 분석 모형<br>(신성일·노현수·조종석, 2005)                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>대중교통체계 개편 후 수도권 도시철도 수입금 정산 분석 모형 제안</li> <li>일반화비용을 기반으로 K경로탐색알고리즘, 유사경로 수요배정모형 및 인·Km를 통한 연락 운임 정산 분석 모형 제안</li> </ul>   |
| 서울시의 대중교통 통합거리비례요금제하에서 운영기관 간 요금정산방안에 관한 연구<br>(윤지현·김성수, 2007) | <ul style="list-style-type: none"> <li>대중교통체계 개편 후의 국내 무선통신시장에서의 접속료 배분 방법을 활용하여 4가지 대안 선정</li> <li>정류장 기반 O/D 중 승객표본을 산출하여 각 정산대안의 비용회수율 및 대안별 특성을 분석</li> <li>비용회수율을 이용한 세 가지 평가기준제시 후 승객유형별 분석결과를 도출</li> <li>각 운영기관에게 공정하게 배분될 요금수입금 정산방안 제시</li> </ul> |

## 2. 대중교통체계 개편 후 수입금 정산 원칙

본 절에서는 대중교통체계 개편 이후 달라진 수입금 정산 원칙에 관해서 중요한 부분 위주로 언급하도록 한다.

### 1) 기본 정산 원칙

대중교통 수단간 환승시 전체 이용거리에 따라 총 부과된 통합 운임은 이용 교통수단별 기본 운임비율로 정산한다. 단, 전철 이용거리가 기본운임구간(10km)을 초과한 경우에는 전철 단독 이용 시의 추가운임을 전철 운영기관에 우선 귀속하고, 나머지 금액은 당해 수단의 기본운임 비율로 정산 배분한다.

$$\text{당해 수단의 정산금} = \text{운임부과액} \times \frac{\text{당해 수단의 기본운임}}{\text{각 수단 기본운임의 합}} \quad (1)$$

### 2) 수단 간 정산 배분 예시

〈표 5〉 정산배분 예시(2개 수단 이용 시)

| 구 분     | 시내버스(4km)                                |    | 지하철 or 버스(5km)                           |    | 총 계<br>(9km) |
|---------|--|----|--|----|--------------|
|         | 승차                                       | 하차 | 승차                                       | 하차 |              |
| 요금부과(원) | 900                                      | 0  | 0  | 0  | 900          |
| 정산금액(원) | $900 \times \{900 / (900 + 900)\} = 450$ |    | $900 \times \{900 / (900 + 900)\} = 450$ |    | 900          |

| 구 분     | 시내버스(8km)                                 |    | 지하철(9km)                                  |     | 총 계<br>(17km) |
|---------|---|----|---|-----|---------------|
|         | 승차  | 하차 | 승차  | 하차  |               |
| 요금부과(원) | 900                                       | 0  | 0   | 200 | 1,100         |
| 정산금액(원) | $1100 \times \{900 / (900 + 900)\} = 550$ |    | $1100 \times \{900 / (900 + 900)\} = 550$ |     | 1,100         |

| 구 분     | 마을버스(1km)                                |    | 지하철(16km)                                      |     | 총 계<br>(17km) |
|---------|--|----|--|-----|---------------|
|         | 승차                                       | 하차 | 승차   | 하차  |               |
| 요금부과(원) | 600                                      | 0  | 300  | 200 | 1,100         |
| 정산금액(원) | $900 \times \{600 / (600 + 900)\} = 360$ |    | $200 + 900 \times \{900 / (600 + 900)\} = 740$ |     | 1,100         |

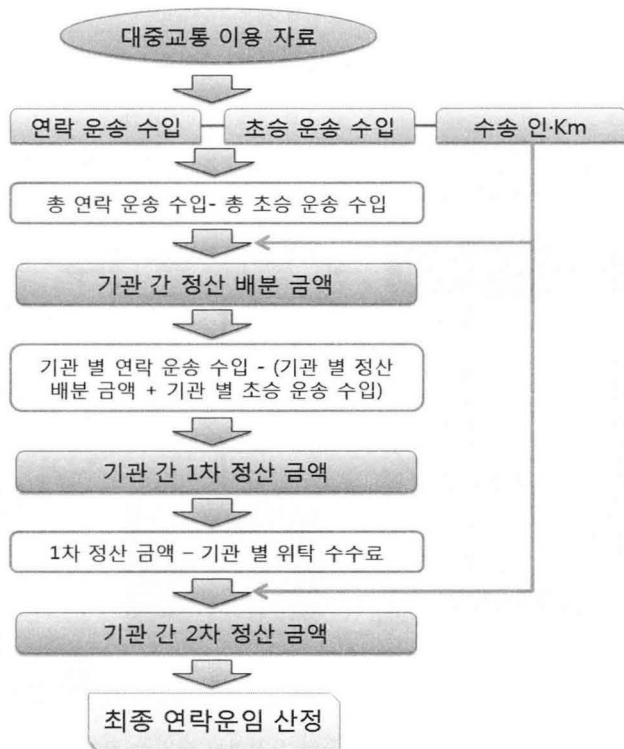
〈표 6〉 정산배분 예시(3개 수단 이용 시)

| 구 분     | 시내버스(7km)                                 |    | 지하철(10km)                                 |     | 마을버스(4km)                                 |     | 총 계<br>(21km) |
|---------|---|----|---|-----|---|-----|---------------|
|         | 승차  | 하차 | 승차  | 하차  | 승차  | 하차  |               |
| 요금부과(액) | 900                                       | 0  | 0   | 200 | 0   | 100 | 1,200         |
| 정산금액(원) | $1200 \times \{900/(900+900+600)\} = 450$ |    | $1200 \times \{900/(900+900+600)\} = 450$ |     | $1200 \times \{600/(900+900+600)\} = 300$ |     | 1,200         |

| 구 분     | 시내버스(9km)                                 |    | 지하철(19km)                                     |     | 마을버스(6km)                                 |     | 총 계<br>(34km) |
|---------|---|----|---|-----|---|-----|---------------|
|         | 승차  | 하차 | 승차  | 하차  | 승차  | 하차  |               |
| 요금부과(액) | 900                                       | 0  | 0   | 400 | 0   | 100 | 1,400         |
| 정산금액(원) | $1200 \times \{900/(900+900+600)\} = 450$ |    | $200+1200 \times \{900/(900+900+600)\} = 650$ |     | $1200 \times \{600/(900+900+600)\} = 300$ |     | 1,400         |

## 3) 철도 운영기관 간 연락운임 정산

기본적으로 철도에서의 기관 간 운임정산은 자선구간 운임정산과 연락구간 운임정산으로 구



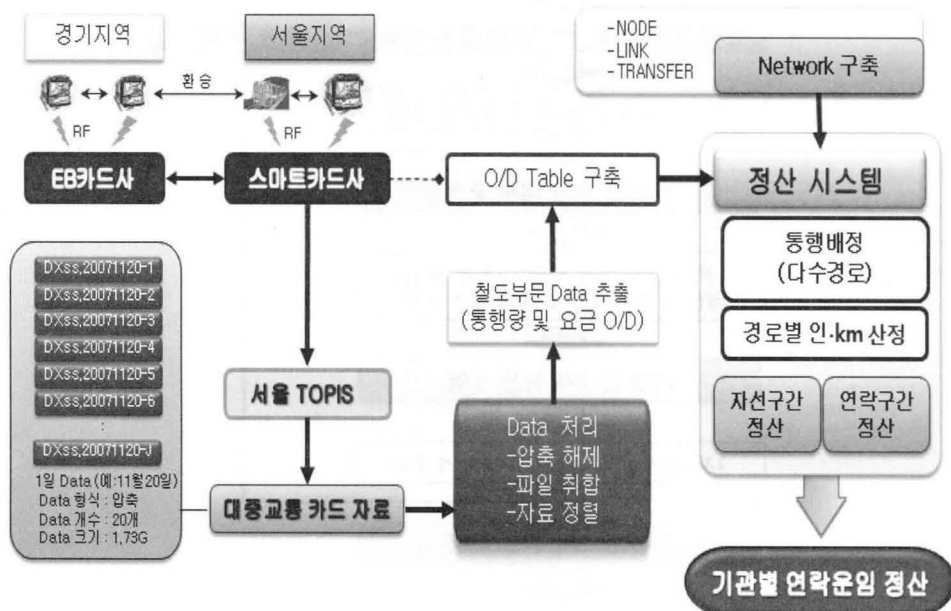
〈그림 1〉 철도 운영기관 간 연락운임 정산 과정

분된다. 자선구간의 경우 자 기관의 노선만을 이용하기 때문에 모든 수입금은 자 기관에 귀속되어야 하지만 두 개 이상의 기관이 운영하는 역을 이용(예, 중앙선 옥수역(철도공사)을 이용하기 위해 3호선 옥수역(서울메트로)을 이용하는 경우)할 경우 해당 기관에 전체 요금의 10%를 수수료로 지불해야 한다. 이는 연락구간 운임 정산에서도 마찬가지로 적용된다.

여기서 자선구간의 경우 하나의 기관이 운영하는 노선을 이용하기 때문에 수수료를 제외한 금액을 하나의 이용노선 운영기관이 갖게 되지만, 연락구간의 경우 이용노선 운영기관이 다수이기 때문에 <그림 1>과 같은 정산 절차를 거치게 된다.

#### IV. 수도권 도시철도 수입금 정산 방법론

본 연구에서 제안하는 수도권 도시철도 수입금 정산 방법론은 크게 대중교통 카드(RF Card) 자료의 활용과 운영기관 간 연락운임 정산 알고리즘 제안으로 나눌 수 있다. 대중교통 카드(RF Card)로부터 구축된 O/D를 토대로 본 연구에서 제안하는 수입금 정산 알고리즘을 활용하여 자선구간을 포함한 기관별 연락구간 운임 정산을 하게 된다.



<그림 2> 본 연구의 수도권 도시철도 수입금 정산 과정



## 1. Data 가공 및 O/D 구축

## 1) 대중교통 카드(RF Card) 자료 수집

서울시 버스 및 도시철도에 대한 대중교통 카드(RF Card)의 정보는 (주)한국스마트카드사에서 수집하고 있으며, 경기도의 경우 (주)이비카드사에서 관리를 하고 있다. 양 기관은 정보 공유를 통해 경기와 서울을 통행하는 이용자의 정보를 취합하여 최종적으로 수도권 대중교통 통행정보를 갖게 된다. 현재 서울시 TOPIS에서는 (주)한국스마트카드사로부터 일일 대중교통 카드(RF Card) 자료를 협조 받아 1개월간의 정보를 저장하고 있으며, 일일 정보가 새롭게 저장되면 30일 이전의 하루 자료가 삭제되어 상시 과거 한달 자료를 보관한다.

1일 자료는 약 80~100MB 20개의 압축 파일로 구성되며, 1일 자료는 약 2GB에 해당하는 대용량 자료이다.

## 2) 대중교통 카드(RF Card) 자료 가공

대중교통 카드(RF Card) 자료는 대용량이기 때문에 1일 자료라 하더라도 여러 개의 파일로 나누어져 있다.

〈표 7〉 2007년 11월 20일 일일 Data 결합

|                |                |   |              |
|----------------|----------------|---|--------------|
| DXSS.200711201 | DXSS.20071120B | ➡ | 20071120.TXT |
| DXSS.200711202 | DXSS.20071120C |   |              |
| DXSS.200711203 | DXSS.20071120D |   |              |
| DXSS.200711204 | DXSS.20071120E |   |              |
| DXSS.200711205 | DXSS.20071120F |   |              |
| DXSS.200711206 | DXSS.20071120G |   |              |
| DXSS.200711207 | DXSS.20071120H |   |              |
| DXSS.200711208 | DXSS.20071120I |   |              |
| DXSS.200711209 | DXSS.20071120J |   |              |
| DXSS.20071120A | DXSS.20071120K |   |              |

〈표 8〉 Data 가공 전·후 모습

| 가공 전 (1일 2.2G Byte)   |  |
|---|--|
| 2605n3R5rWsLwYZeeHDmpNqAAyNnh2I=20071117075419 01 1 115 0 11110063 111007100 111707938 01 20071117071845 0008435 20071117081828 0009199 1 900 0 |  |
| 가공 후 (1일 1.2G Byte)   |  |
| n3R5rWsLwYZeeHDmpNqAAyNnh2I=075419 01 1 115 0 11110063 111007100 111707938 01 071845 8435 081828 9199 1 900 0                                   |  |

따라서 자료 분석을 위해서는 이를 1일 1개 파일로 결합한 후 불필요한 정보 및 자료의 용량 감소를 위한 필터링 과정을 거쳐야 한다.

즉, 대중교통카드 자료의 분석 속도 증가 및 자료 처리의 용이성을 위해 분석에 사용되지 않는 숫자 및 연, 월, 일 등을 삭제함으로써 자료의 용량을 절반 가까이 감소시킬 수 있다.

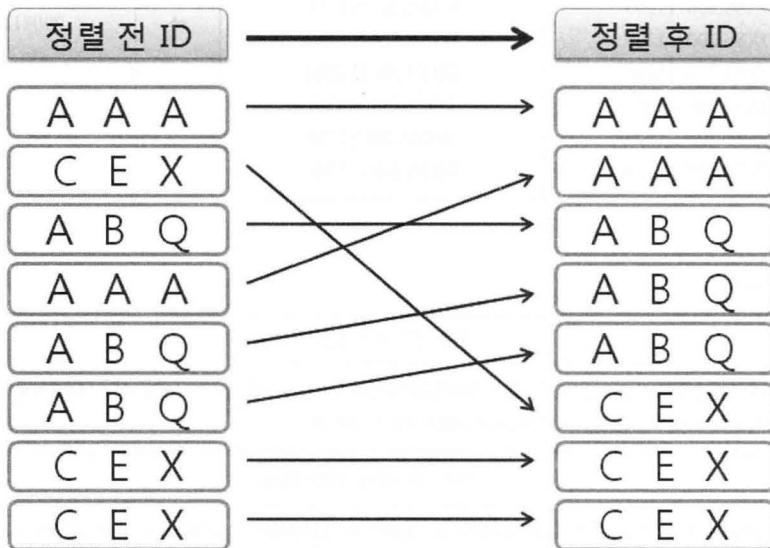
### 3) ID 정렬(Sorting)

대중교통 카드 자료의 경우 시간의 흐름에 따라 다수의 사용자가 기록되기 때문에 특정인의 통행이 끝나기 이전에 다른 사람의 정보가 먼저 수록된다. 따라서 개개인의 하나의 목적 통행과 수단 통행을 분석하기 위해서는 ID를 기준으로 정렬 작업을 수행해야 한다.

이러한 과정을 거치게 되면 하나의 목적통행이 끝난 후에 다른 목적통행이 시작되도록 대중교통 카드 자료가 정렬되며, 아래 <그림 3>은 ID 정렬(Sorting) 과정을 도식화 한 모습이다.

### 4) O/D 추출

2004년 대중교통 체계 개편 이전의 경우 철도부문의 자료는 철도 통행의 O/D 및 철도 요금이 기록되어 있었으나, 대중교통체계 개편 이후 대중교통 카드(RF Card)는 버스와 철도의 환승요금제를 적용한 요금이 기록되어 있다. 따라서 대중교통 카드(RF Card) 자료를 수도권 도시철도 운임 정산에 활용하기 위해서는 철도부문의 통행 정보만을 추출할 필요가 있다. 추출된 철도 O/D가 버스와 환승 통행일 경우 식 (1)의 정산 원칙에 의해 요금을 정산한다.



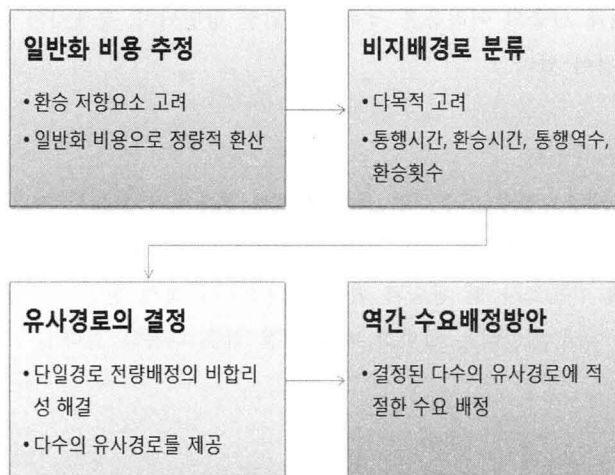
<그림 3> ID 정렬(Sorting) 과정

## 2. 수도권 도시철도 수입금 정산 알고리즘

### 1) 기본 방향

수도권 도시철도 수입금 정산을 위해서는 우선 통행자의 정확한 경로추적이 필요하다. 이에 본 연구에서는 승객이 이용 가능한 다수의 경로를 일반화 비용을 통해 탐색하고, 승객에게 대등한 서비스를 제공하는 다수의 유사경로에 통행량을 배분하는 신성일 외(2005)가 제안한 수도권 수입금 정산 모형을 활용하도록 한다.

신성일 외(2005)가 제안한 모형에 통행시간, 환승시간, 통행역수, 환승횟수의 다목적성을 고려하여 비지배경로를 분류한 후 유사 경로를 결정하는 모형으로 발전시켜 기존의 정산모형에서 가장 문제시 되던 단일경로 배정방식의 한계를 극복하도록 한다. 이는 다수의 경로에 통행량을 배분함으로써 유사한 노선을 보유하고 있는 기관은 단일경로에 의한 정산 시 손해를 보는 불합리함을 극복함과 동시에 현실 모사성을 좀 더 향상시켰다고 볼 수 있다.



〈그림 4〉 수입금 정산 알고리즘의 방향

### 2) 일반화 비용 추정

#### (1) 일반화 비용

일반적으로 경제학에서는 통행수단 선택 시, 이용 가능한 통행수단 중에서 통행에 소요되는 전체비용이 가장 적은 통행수단을 선택하며, 여기서 비용은 통행비용(Out-of-Pocket-Money), 통행시간(Travel Time), 시간가치(Value of Time: VOT)로 구성된다.

$$G_{ci} = C_i + VOT \cdot T_i \quad (2)$$

여기서,

$G_{ci_i}$  : 교통수단  $i$ 의 일반화비용(원)

$C_i$  : 교통수단  $i$ 의 통행비용(원)

$VOT$  : 시간당 통행시간 가치(원/분)

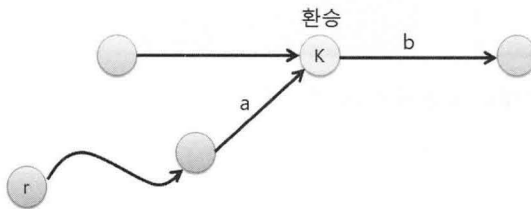
$T_i$  : 출발지 목적지간 수단  $i$ 의 통행시간(분)

통행비용의 경우 승용차는 유류비·주차비를 의미하며, 대중교통은 요금 등의 현금비용을 의미한다. 통행시간은 출발지와 목적지 간 소요되는 수단별 총 통행시간을 의미하며, 시간가치는 개인의 소득 등의 기준을 통해 통행 시간을 시간 단위로 환산한 것으로 시간(분)과 비용(원)을 동일 단위로 통일하기 위해 사용한다.

또한, 도로망 분석 시 통행시간과 비용을 일반화비용으로 단일화하여 적용하고 있는데, 이는 이용자균형 통행배정(User Equilibrium Traffic Assignment) 수행 시 변수가 시간과 비용으로 이원화됨에 다른 최적해 산출의 어려움을 극복하기 위한 방법이며, 통행자의 다양한 통행조건을 고려할 수 있는 장점이 있다.

## (2) 일반화 비용 추정식

개인 통행자는 대중교통을 이용하여 특정 경로로 통행하기 위해서 여러 가지 조건(총 통행시간, 환승횟수, 환승시간, 환승역 환경 등)을 고려하게 된다. 따라서 본 연구에서는 일반화 비용 구축을 위해 실제 설문조사 및 환승역 환경 실태조사를 통해 환승 계수를 추정하였으며, 이를 반영하여 본 연구에서 제안하는 일반화 비용 추정 식은 다음과 같다.



$$C_{ab}^r = IVTT_{ab}^r + \alpha_{ab}^k (T_{ab}^k + H_b/2) \quad (3)$$

여기서,

$r$  : 출발역                       $k$  : 환승역

$a, b$  : 운영기관 링크(노선)

$C_{ab}^r$  : 출발지  $r$ 에서 출발하여 노선  $a$ 와 노선  $b$  이용 시 일반화비용(분·비용)

$IVTT_{ab}^r$  : 노선  $a$ 와 노선  $b$  이용 시 차내시간(분)

$T_{ab}^k$  : 환승역  $k$ 에서 노선  $a, b$ 간 도보시간(분)

$H_b$  : 노선  $b$ 의 배차간격(분)

$\alpha_{ab}^k$  : 환승역  $k$ 에서 노선  $a$ 에서  $b$ 로 환승 시 파라미터

### (3) 차내 통행시간 추정( $IVTT_{ab}^r$ )

차내 통행시간은 역간 링크의 길이와 차량의 속도를 통해 산출된다. 이때 속도는 서울메트로 수송계획(서울메트로, 2007)에서 제시한 첨두시와 비첨두시의 표정속도를 평균하여 적용한다.

$$IVTT = \frac{Dis_{ij}}{Speed_n} \quad (4)$$

여기서,

$Dis_{ij}$  : 역  $i$ 와 역  $j$ 간의 링크 길이

$Speed_n$  : 노선  $n$ 의 차량 속도

〈표 9〉 노선별 적용 차량 속도

| 노선   | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 차량속도 | 31.2 | 33.6 | 34.0 | 35.8 | 32.7 | 30.1 | 32.3 | 34.2 |

| 노선   | 93   | 95   | 91   | 96   | 94   | 92   | 97   | 98   |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 차량속도 | 46.2 | 34.8 | 36.0 | 45.0 | 37.6 | 37.7 | 41.8 | 32.6 |

### (4) 환승계수 추정( $\alpha_{ab}^k$ )

본 연구에서 일반화 비용 추정을 위한 환승계수는 실제 도시철도 이용자의 통행경로 및 환승 선호도 조사를 실시한 후 조사 결과를 토대로 실제 통행배정 결과에 가장 근접한 통행배정을 나타내는 환승계수를 경험적으로 추정한다(신성일 외, 2005).

### (5) 환승 도보시간 조사( $T_{ab}^k$ )

본 연구에서는 환승역의 방향별 환승 도보시간을 산출하기 위해 실제 조사자를 투입하여 55개의 환승역에서 직접 조사를 수행한다. 조사된 환승 도보시간은 조사자가 이전 노선의 열차 중앙에서부터 환승할 다음 노선의 열차 중앙까지의 환승객의 이동에 맞춰 직접 도보로 시간을 측정한다.

(6) 노선별 배차간격 산정( $H_b$ )

환승역에서의 환승노선 배차간격은 운영기관별 대표역을 선정하여 침두시(07:00~09:00, 18:00~20:00)통행수와 전체통행수의 침두 비율을 산출하고, 산출된 침두 비율을 이용해 침두시와 비침두시의 배차간격을 가중평균한 배차간격을 적용한다.

## 2) 비지배경로(다목적 경로탐색) 분류

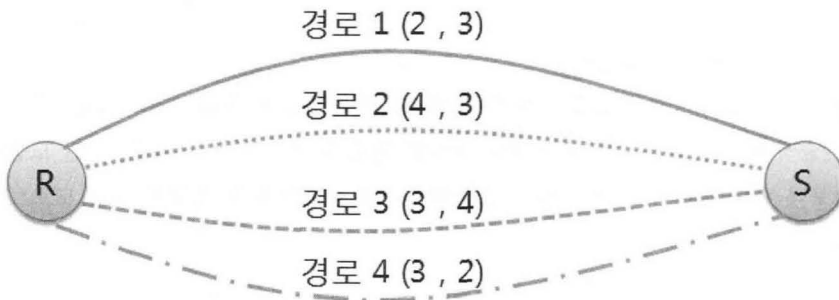
본 연구에서 제안하는 수도권 도시철도 수입금 정산 알고리즘에 활용될 비지배경로에 대한 정의는 다음과 같다.

정의 1: 두 경로  $P_1(t), P_2(t)$ 가 시간 종속적 가능 경로 집합에 있고,  $n$ 개 속성값( $u_1, u_2, \dots, u_i, \dots, u_n$ )에서 어떤  $i$ 개별속성( $\mu_i \in u_i$ )에 대하여  $P_1(t), P_2(t)$ 의 개별속성  $\mu_{P_1(t)}^i, \mu_{P_2(t)}^i$ 이  $\mu_{P_1(t)}^i \leq \mu_{P_2(t)}^i$ 가 모든 속성( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ )에서 성립한다면  $P_1(t)$ 은  $P_2(t)$ 를 지배(Dominated)한다고 정의

정의 2: 경로  $P(t)$ 가 시간 종속적 가능 경로 집합에 포함되고, 다른 어떤 경로도  $P(t)$ 를 지배하는 경로가 존재하지 않으면 경로  $P(t)$ 는 비지배경로로 정의

출발지 R에서 도착지 S로 4개의 경로가 연결된 예를 보면, 비지배경로 (정의 1)과 (정의 2)를 만족하는 비지배경로는 (2, 3), (3, 2)의 속성(통행비용, 환승시간)을 갖는 첫 번째와 네 번째 경로가 된다.

비지배경로 분류 시 여러 항목들을 고려하여 다목적경로 탐색을 수행한 후, 비지배경로 탐색 및 분류를 시행한다. 이 때 기준이 되는 다목적 항목에는 통행시간, 환승시간, 통행역수, 환승횟수가 있다.



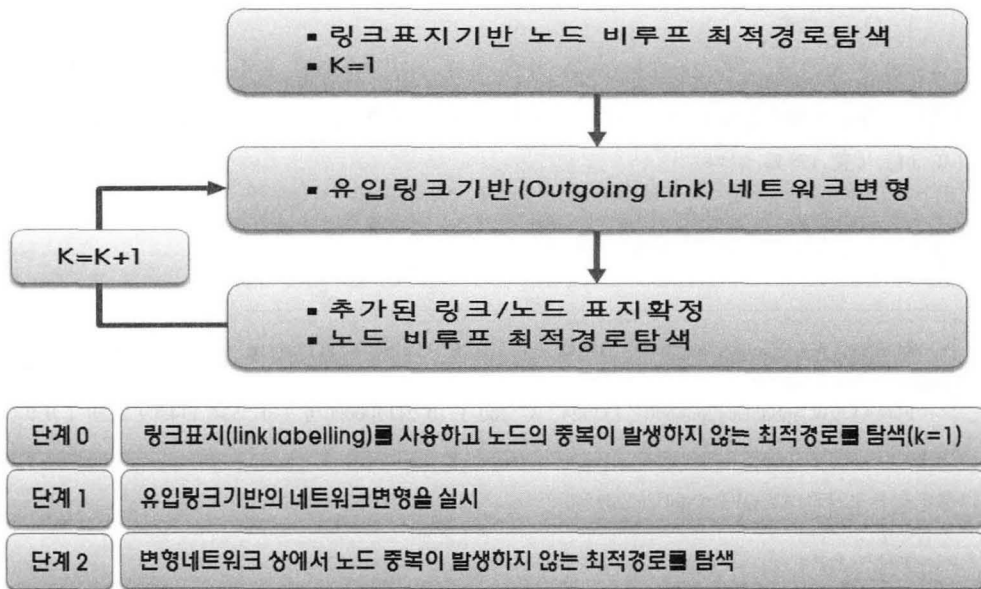
〈그림 5〉 비지배경로 예

## 3) 유사경로 결정 방안

유사경로는 “최적의 경로와 비교하여 비용측면에서 크게 차이가 나지 않는 경로”로 정의한다(신성일 외, 2005). 유사경로를 결정하는 기준으로는 일반화 비용을 사용하도록 한다. 각 경로의 일반화 비용은 환승에 대한 불편도 개념이 적용되어 있어, 특정 개인이 경로를 선택하는 합리적인 기준이 될 수 있다. 여기서 유사한지의 여부는 통행거리분포에 따라 몇 가지 변수가 포함될 수 있으나, 본 연구에서는 최적경로의 일반화 비용 대비 다른 경로의 일반화 비용 차이가 몇 % 내에 포함되는지의 여부로 유사경로를 나타낼 수 있다. 이는 개인이 느끼는 불편도를 고려하여 결정한 최적경로에 비해, 어느 정도까지 통행 대안경로로 선택할지의 여부로 보면 된다. 예를 들면, 일반화비용이 70분인 최적경로의 10% 이내에 포함하는 경로를 유사경로로 본다면, 일반화비용이 77분 이내인 모든 경로가 유사경로가 된다. 유사경로 결정비율이 적합한지를 판단하기 위해서는 반드시 통행행태조사를 실시하여야 하며, 여러 기관 간 수입금 정산 시 이는 합의사항으로 볼 수 있다.

## 4) 유사경로 탐색 알고리즘

유사경로를 탐색하는 프로세스에 본 연구는 신성일(2004), Lee(2004)와 신성일 외(2004)가 제안한 링크표지기반 노드 비루프 경로 탐색 알고리즘을 활용하도록 한다.



〈그림 6〉 유사경로 탐색 알고리즘

## 5) 역간 수요배정 모형

본 연구에서는 확정된 다수경로에 대하여, 환승행태가 반영된 일반화비용을 적용하기 때문에 Logit 모형을 활용한 수요배분방안을 선택하기로 한다. 즉, 유사경로를 탐색하면 탐색대안이 결정되었으므로, 각 경로에서 도출된 일반화비용에 대한 경로별 선택확률을 계산하여 수요를 배분한다.

$$P_i = \frac{e^{\theta C_i}}{\sum_k e^{\theta C_k}}, \forall k \in K \quad (5)$$

여기서,

$P_i$  :  $i$ 번째 경로의 역간 수요배정확률

$C_2$  :  $i$ 번째 경로의 일반화 비용

$\theta \rightarrow 0$  : 균일배정

$\theta \rightarrow \infty$  : 단일노선배정

$\theta \rightarrow (0.01 \sim 1)$  : 확률배정

## V. 사례연구

## 1. O/D 추출

4장에서 제시된 대중교통(RF Card) 카드 자료 가공 및 O/D 구축 방법론을 토대로 2007년 11월 대중교통(RF Card) 카드 자료로부터 실제 수도권 도시철도를 이용한 O/D를 산출하면 <표 11>, <표 12>와 같다.

<표 11> 대중교통 카드로부터 O/D 분석 예시 1

```
+++FFt1AY/yWTmbqoUeu2gdq5y0= 131448 37 120 0 11110171 111001500 111706500 1 12551 0 8525
132526 8742 1 900 0
+++FFt1AY/yWTmbqoUeu2gdq5y0= 132924 37 200 1 0 211200000 0 1 0 2534 134809 2539 1 0 0
```

통행인 : +++FFt1AY/yWTmbqoUeu2gdq5y0=

목적통행 : 1통행

수단통행 : 2통행 (버스 + 철도)

이용 수단 : 버스(120), 철도(200)

총 요금 : 버스 900원 + 철도 0원 = 총 900원



추출된 O/D의 내용을 살펴보면 통행인은 총 900원을 지불하고 버스와 도시철도를 이용했다. 도시철도 이용 시 추가요금을 지불하지 않았기 때문에 도시철도 O/D만을 추출할 경우 철도 요금이 0원으로 기록되어 요금정산이 불가능하다. 따라서 대중교통 수단 간 수입금 정산방식에 따라 총 요금인 900원을 버스와 철도의 기본요금 비율로 배정한 결과, 철도 이용 시 450원의 요금을 지불한 것으로 분석된다.

즉, 통행자 “+++FFt1AY/yWTmbqoUeu2gdq5y0=”은 ‘2534(광화문)’역에서 출발하여 “2539(신금호)”역에 도착하고 기본요금으로 450원을 지불한 것으로 해석할 수 있다.

〈표 11〉의 동일한 방식으로 통행 O/D를 산출하면, 통행인 “kAVQrAVltNmHoiM6RA7Kj3qs=”는 도시철도로 “2514(송정)”역에서 출발하여 “2534 (광화문)”역에 도착하고, 총 요금 300원을 지불하였다.

위와 같은 절차를 통해 수도권 도시철도의 O/D(통행량, 요금)가 구축되며, 〈표 13〉은 이에 대한 예시이다.

〈표 12〉 대중교통 카드로부터 O/D 분석 예시2

|  |
|--|
| +++kAVQrAVltNmHoiM6RA7Kj3qs= 112250 58 120 0 11110290 111000400 111745429 1 93805 7403 112504 7387 1 900 0 |
| +++kAVQrAVltNmHoiM6RA7Kj3qs= 112803 58 200 1 0 211200000 0 1 0 2514 120821 2534 1 0 300                    |

통행인 : +++kAVQrAVltNmHoiM6RA7Kj3qs=  
 목적통행 : 1통행  
 수단통행 : 2통행 (버스 + 철도)  
 이용 수단 : 버스(120), 철도(200)  
 총 요금 : 버스 900원 + 철도 300원 = 총 1,200원

〈표 13〉 수도권 도시철도 O/D 예시

| 출발역  | 도착역  | 통행인원 | 총수입    | 총수입 중 기본요금금액 |
|------|------|------|--------|--------------|
| 1204 | 2555 | 1.4  | 1571.4 | 1285.7       |
| 1204 | 2556 | 0.7  | 720.0  | 505.7        |
| 1204 | 2557 | 0.1  | 171.4  | 128.6        |
| 1204 | 2558 | 0.6  | 685.7  | 514.3        |
| 1204 | 2559 | 1.1  | 1371.4 | 1028.6       |
| 1204 | 2560 | 0.3  | 371.4  | 257.1        |
| 1204 | 2611 | 1.1  | 1371.4 | 1028.6       |
| 1204 | 2612 | 0.6  | 814.3  | 642.9        |
| ⋮    | ⋮    | ⋮    | ⋮      | ⋮            |

〈표 14〉 실제 수입금 및 분석 값 비교

| 구 분           | 실제 통행일 | 분석 값 (천원) | 실제 값 (천원) | 오차 (%) |
|---------------|--------|-----------|-----------|--------|
| DXSS_20071114 | 11월11일 | 2,839,159 | 2,845,629 | 0.23   |
| DXSS_20071115 | 11월12일 | 4,660,564 | 4,668,202 | 0.16   |
| DXSS_20071116 | 11월13일 | 4,689,281 | 4,698,608 | 0.20   |
| DXSS_20071117 | 11월14일 | 4,772,949 | 4,781,864 | 0.19   |
| DXSS_20071118 | 11월15일 | 4,738,918 | 4,747,679 | 0.18   |
| DXSS_20071119 | 11월16일 | 4,857,364 | 4,866,517 | 0.19   |
| DXSS_20071120 | 11월17일 | 3,977,144 | 3,981,941 | 0.12   |

현재 (주)스마트카드사에서는 수집된 RF Data를 바탕으로 버스-철도 간 1차 수입금 정산 후 각 운영기관(철도4개 기관 및 각 버스회사)에 수입금을 입금하고 있으며, 철도부문 수입금은 연락구간 정산 및 위탁수수료가 고려되지 않은 금액으로 본 연구의 수도권 도시철도 O/D요금과 동일한 개념이다.

따라서, 일정기간(2007년 11월 11일~17일) 동안의 (주)스마트카드사에서 철도 운영기관에 지급한 수입금과 본 연구의 과정 중 도출되는 철도부문의 O/D(수입금)을 비교·분석한 결과 일별 0.12~0.23% 적게 분석되었다.

이러한 오차율은 (주)스마트카드사는 대중교통 카드에서 발생할 수 있는 오검지 자료 및 수집되지 않는 하차시 미태그 통행에 대해서는 매월 1회 총 합산하여 기관별 배분하고 있으나 본 분석에서는 이러한 오검지 자료를 고려하지 않았기 때문에 발생하는 것으로 판단된다.

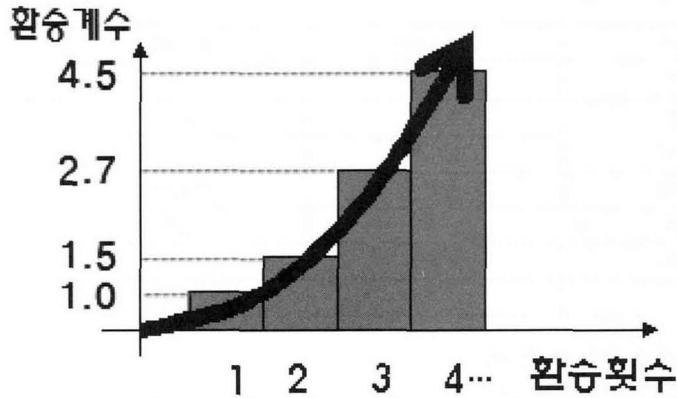
## 2. 일반화 비용 파라미터 정산

### 1) 환승 계수 추정( $\alpha_{ab}^k$ )

4장에서 제시된 방법론을 토대로 일반화 비용 추정에 사용될 환승 계수를 경험적으로 추정하면 〈표 15〉와 〈그림 7〉과 같다.

〈표 15〉 최적 환승 계수

| 환승횟수                    | 0   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 환승계수( $\alpha_{ab}^k$ ) | 0.0 | 1.0 | 1.5 | 2.7 | 4.5 | 5.5 |



〈그림 7〉 최적 환승 계수

2) 환승 도보시간 조사( $T_{ab}^k$ )

일반화 비용 추정을 위한 환승 도보시간 조사의 결과는 〈표 16〉과 같다.

〈표 16〉는 가산디지털단지에서 조사한 자료의 결과로서, 7호선 장암역 방면에서 1호선 의정부 방면으로 환승을 할 경우 3분 10초가 소요된다는 것을 알 수 있다. 이러한 방법으로 55개 환승역에 대해서 모든 환승 방향별 조사를 실시하였으며, 조사된 자료를 도시철도 수입금 정산 알고리즘에 활용하기 위해 환승 통행 자료로 구성하면 〈표 17〉과 같다.

〈표 16〉 환승 도보시간 조사 예

| No. | 역이름             | 환승<br>노선 |   | 환승<br>방향 |        | 이동시간  |       |
|-----|-----------------|----------|---|----------|--------|-------|-------|
|     |                 |          |   |          |        | 시간(분) | 시간(초) |
| 1   | 가산<br>디지털<br>단지 | 7        | 1 | 장암       | 의정부    | 3     | 10    |
|     |                 |          |   | 장암       | 인천(수원) | 3     | 33    |
|     |                 |          |   | 온수       | 의정부    | 3     | 6     |
|     |                 |          |   | 온수       | 인천(수원) | 3     | 26    |
|     |                 | 1        | 7 | 의정부      | 장암     | 2     | 58    |
|     |                 |          |   | 의정부      | 온수     | 3     | 1     |
|     |                 |          |   | 인천(수원)   | 장암     | 3     | 25    |
|     |                 |          |   | 인천(수원)   | 온수     | 3     | 21    |
| ⋮   | ⋮               | ⋮        | ⋮ | ⋮        | ⋮      | ⋮     | ⋮     |

〈표 17〉 환승 통행 자료

| F_node | Transfer | T_node | Time |
|--------|----------|--------|------|
| 도봉     | 도봉산      | 장암     | 1.12 |
| 도봉     | 도봉산      | 수락산    | 1.00 |
| 망월사    | 도봉산      | 장암     | 1.43 |
| 망월사    | 도봉산      | 수락산    | 1.18 |
| 장암     | 도봉산      | 도봉     | 1.32 |
| 수락산    | 도봉산      | 도봉     | 0.97 |
| ⋮      | ⋮        | ⋮      | ⋮    |

3) 노선별 배차간격 산정( $H_b$ )

노선별 배차간격 산정을 위한 시간대별/기관별 통행량은 〈표 18〉과 같다.

〈표 18〉 시간대별/기관별 통행량

|       | 서울메트로 출발 | 서울도시철도 출발 | 철도공사 출발 | 인천지하철 출발 |
|-------|----------|-----------|---------|----------|
| 00시대: | 1,294    | 91        | 8       | 17       |
| 01시대: | 0        | 0         | 0       | 0        |
| 02시대: | 0        | 0         | 0       | 0        |
| 03시대: | 0        | 0         | 0       | 0        |
| 04시대: | 7        | 0         | 0       | 0        |
| 05시대: | 361      | 74        | 30      | 84       |
| 06시대: | 767      | 132       | 76      | 293      |
| 07시대: | 2,328    | 475       | 204     | 1,219    |
| 08시대: | 3,184    | 694       | 253     | 1,100    |
| 09시대: | 2,156    | 389       | 127     | 435      |
| 10시대: | 2,066    | 371       | 97      | 273      |
| 11시대: | 2,579    | 413       | 104     | 248      |
| 12시대: | 3,104    | 456       | 113     | 283      |
| 13시대: | 3,742    | 487       | 110     | 278      |
| 14시대: | 3,471    | 585       | 112     | 215      |
| 15시대: | 4,022    | 717       | 139     | 223      |
| 16시대: | 4,813    | 760       | 154     | 439      |
| 17시대: | 6,702    | 1,323     | 342     | 449      |
| 18시대: | 13,009   | 3,134     | 365     | 521      |
| 19시대: | 9,807    | 2,449     | 263     | 335      |
| 20시대: | 7,108    | 1,550     | 187     | 249      |
| 21시대: | 7,958    | 1,336     | 160     | 267      |
| 22시대: | 8,900    | 1,314     | 133     | 186      |
| 23시대: | 5,627    | 551       | 59      | 109      |
| 전체    | 93,005   | 17,301    | 3,036   | 7,223    |
| 피크시   | 28,328   | 6,752     | 1,085   | 3,175    |
| 비율    | 30.46%   | 39.03%    | 35.74%  | 43.96%   |

〈표 19〉첨두 비율을 고려한 배차간격 가중평균

| 노선        |          | 첨두시<br>배차간격 | 비첨두시<br>배차간격 | 첨두<br>비율 | 배차간격<br>가중평균 | 비고   |
|-----------|----------|-------------|--------------|----------|--------------|------|
| 서울<br>메트로 | 1        | 3           | 4            | 0.3046   | 3.70         | 강남   |
|           | 2        | 2.5         | 5.5          | 0.3046   | 4.59         |      |
|           | 3        | 3           | 6            | 0.3046   | 5.09         |      |
|           | 4        | 2.5         | 5            | 0.3046   | 4.24         |      |
| 도시<br>철도  | 5        | 2.5         | 6            | 0.3903   | 4.63         | 강남구청 |
|           | 6        | 4           | 8            | 0.3903   | 6.44         |      |
|           | 7        | 2.5         | 6            | 0.3903   | 4.63         |      |
|           | 8        | 4.5         | 8            | 0.3903   | 6.63         |      |
| 철도<br>공사  | 경부       | 6           | 7            | 0.3574   | 6.64         | 한남   |
|           | 경인       | 2.7         | 5            | 0.3574   | 4.18         |      |
|           | 경원       | 6           | 7.5          | 0.3574   | 6.96         |      |
|           | 중앙       | 9.2         | 15.9         | 0.3574   | 13.51        |      |
|           | 안산<br>과천 | 5           | 6.7          | 0.3574   | 6.09         |      |
|           | 분당       | 4           | 6.9          | 0.3574   | 5.86         |      |
|           | 일산       | 6           | 8.6          | 0.3574   | 7.67         |      |
| 인천<br>지하철 | 인천       | 5.25        | 9.25         | 0.4396   | 7.49         | 부평시장 |

서울메트로 수송계획(서울메트로, 2007)

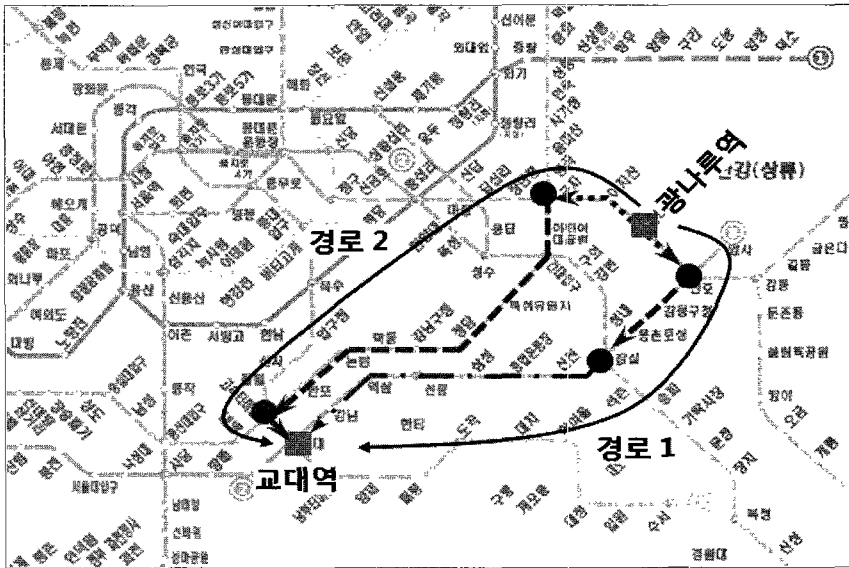
### 3. 수도권 도시철도 수입금 정산 사례

본 절에서는 2007년 11월 대중교통 카드(RF Card) 한 달 자료로부터 추출된 O/D와 일반화비용을 실제 사례에 적용하여 그 현실성과 활용성을 검증하도록 한다.

#### 1) 다수경로(유사경로) 탐색

수도권 도시철도 역 중에서 임의의 역을 선정하여 본 연구에서 제안한 수입금 정산 방안을 적용하도록 한다.

임의의 역은 환승이 포함된 경로를 가지는 광나루역(2547)과 교대역(330)으로 선정하였으며, 다수경로(유사경로) 탐색 결과는 〈그림 8〉과 〈표 20〉과 같다.



〈그림 8〉 탐색된 다수경로(유사경로)

〈표 20〉 다수경로(유사경로) 탐색 결과

| 경로  | 비용(분) | 선택 확률(%) | 통행량(인) | 이용노선 운영기관 | 통행 경로    | 이용 Km | 인 · Km |
|-----|-------|----------|--------|-----------|----------|-------|--------|
| 1th | 26.3  | 51.6     | 0.98   | 도시철도      | 광나루-천호   | 2.0   | 1.960  |
|     |       |          |        | 도시철도      | 천호-잠실    | 3.3   | 3.234  |
|     |       |          |        | 서울메트로     | 잠실-교대    | 7.9   | 7.742  |
| 2th | 27.0  | 48.4     | 0.92   | 도시철도      | 광나루-군자   | 2.5   | 2.300  |
|     |       |          |        | 도시철도      | 군자-고속터미널 | 9.7   | 8.924  |
|     |       |          |        | 서울메트로     | 고속터미널-교대 | 1.6   | 1.472  |

본 연구에서 제시한 유사경로 탐색알고리즘에 의해 탐색된 다수경로 결과의 검증을 위해 설문(800샘플)조사를 수행하였다.

철도 이용자의 출발지와 도착지, 환승역 조사를 기본으로 한 설문을 기초로 본 연구에서 제시된 알고리즘에 의해 탐색된 경로를 비교·분석한 결과, 실제 철도 이용자의 통행경로(800개) 중 726개 경로(90.75%)에 해당하는 경로가 알고리즘에 의해 탐색되었으며, 54개 경로(6.75%)에 대해서는 비현실적인 경로(불가능한 경로 응답, 최단경로와 비교하여 터무니없는 경로 선택 등)를 선택하여 실질적인 오차율은 2.50%로 알고리즘이 현실을 잘 반영한다고 할 수 있다.

## 2) 수입금 정산 사례

수도권 도시철도 전체 역을 대상으로 분석을 수행할 경우 수도권 도시철도 운영기관의 일일 수입금 및 상호 정산금액이 상세히 도출되기 때문에 운영기관의 수입금 노출에 대한 문제점이 발생될 수 있다. 따라서 본 연구의 사례분석에서는 각 기관별 출발 인원의 상위 10개 역을 대상으로 수입금 정산 사례 분석을 수행하였다.

각 기관별 분석대상 역은 <표 21>과 같다.

선택된 각 기관별 역의 O/D를 구축한 후, 본 연구에서 제안한 수입금 정산 방법론을 적용하면 <표 22>와 같은 기관 간 정산 금액 결과가 도출된다.

&lt;표 21&gt; 기관별 분석대상 역

| 서울메트로       | 한국철도공사     | 서울도시철도       | 인천지하철      |
|-------------|------------|--------------|------------|
| 222 강남      | 171 1 성균관대 | 2518 화곡      | 3126 인천터미널 |
| 214 강변      | 1713 수원    | 2519 까치산     | 3116 작전    |
| 216 잠실      | 1716 병점    | 2521 목동      | 3131 동막    |
| 219 삼성      | 1804 부천    | 2522 오목교     | 3123 간석오거리 |
| 226 사당      | 1805 송내    | 2527 여의도     | 3120 부평    |
| 221 역삼      | 1806 부평    | 2534 광화문     | 3119 부평시장  |
| 228 서울대입구   | 1808 동암    | 2722 상봉      | 3132 동막    |
| 232 구로디지털단지 | 1809 주안    | 2747 남구로     | 3114 계산    |
| 220 선릉      | 1855 서현    | 2748 가산디지털단지 | 3117 갈산    |
| 230 대림      | 1859 오리    | 2750 광명사거리   | 3130 원인재   |

&lt;표 22&gt; 기관 간 정산 금액

(단위: 원/일)

| 기관 간 정산 금액 | 받을금액     | 서울메트로발매  | 한국철도공사발매 | 서울도시철도발매 | 인천지하철발매 |
|------------|----------|----------|----------|----------|---------|
| 지급금액       | 0        | -344,497 | -434,234 | 854,644  | -75,914 |
| 서울메트로      | 344,497  | 0        | -149,119 | 492,135  | 1,481   |
| 한국철도공사     | 434,234  | 149,119  | 0        | 362,584  | -77,469 |
| 서울도시철도     | -854,644 | -492,135 | -362,584 | 0        | 75      |
| 인천지하철      | 75,914   | -1,481   | 77,469   | -75      | 0       |

정산 결과 서울메트로는 일일 344,497원, 한국철도공사의 경우 일일 434,234원, 인천지하철공사의 경우 일일 75,914원을 타 기관으로부터 정산 받아야 한다. 그러나 서울도시철도공사의 경우 인천지하철공사로부터 일일 75원을 받지만, 서울메트로에 일일 492,134원, 한국철도공사에 일일 362,584원 정산금을 주어야 한다.

본 사례 연구 결과에서 보듯이 본 연구에서 제안한 수입금 정산 방안을 통해 각 기관별 수입금 정산 금액을 정확히 도출할 수 있음을 알 수 있다. 이를 실제 수도권 도시철도 모든 역을 대상으로 실시한다면, 각 운영기관 별 수입금 정산액을 산출할 수 있을 것으로 판단한다.

## VI. 결론

수도권 도시철도 운영기관 간 수입금 정산 문제는 서울시의 통합 대중교통체계개편 이후 꾸준히 제기되어왔던 문제이다. 더구나 2007년 7월 수도권 통합 환승할인요금제 시행 이후에는 수단 및 도시철도 운영기관 간 수입금 정산 문제가 수도권 전반으로 확대되면서 새로운 수입금 정산 방안의 필요성이 대두되었다.

이에 본 연구에서는 수도권 통합 환승할인요금제 시행 이후 활용 가능한 수입금 정산 방법론을 제안하였다. 특히, 기존 관련 연구 및 모형의 가장 큰 문제점 중에 하나였던 현실 적용성을 대중교통 카드(RF Card) 자료와 실측 자료를 적극 활용함으로써 크게 향상시켰다고 볼 수 있다. 또한, 수도권의 실제 도시철도 네트워크에 사례 연구를 실시함으로써 본 연구에서 제안한 수입금 정산 알고리즘의 효용성과 도시철도 운영기관 간 수입금 정산을 위한 실제 적용 가능성을 검증하였다.

본 연구에서 제안한 수입금 정산 방법론을 활용하면 현재 기관 간 수입금 정산 문제뿐만 아니라 향후 도입될 경전철 및 민자 9호선 등의 수입금 정산 문제도 해결 가능할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- 국토개발연구원(1987), 수도권 전철·지하철연락 운임정산을 위한 조사연구(착수보고서).
- 신성일(2004), “교통망에 적합한 K 비루프 경로 탐색 알고리즘”, 대한교통학회지, 제22권 제6호, 대한교통학회, pp. 121-131.
- 신성일·노현수(2004), “K 링크 비루프 최적경로 탐색알고리즘과 복합대중교통망에의 활용”, 교통정책연구, 교통개발연구원.
- 신성일·노현수·조종석(2005), “수도권 도시철도 수입금 정산 분석 모형”, 대한교통학회지, 제23권 제5호, 대한교통학회, pp. 157-167.
- 윤지현·김성수(2007), “서울시의 대중교통 통합거리비례요금제 하에서 운영기관 간 요금정산방



- 안에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제25권 1호, 대한교통학회, pp. 37-47.
- 한국교통연구원(1995, 1998), 수도권 전철과 지하철의 운임제도 개선 및 연락운임 정산방안 연구 최종보고서.
- Azevedo JA, Santos Costa MEO, Silvestre Madeira JJER, Martins. EQV(1993), An Algorithm for the Ranking of Shortest Paths, European Journal of Operational Research 69, pp. 97-106.
- Dimirios A. T and Constantinos A.(1986), Allocating Revenues to Public Transit Operators Under an Integrated Fare System, Transportation Research Record, pp. 29-37.
- Lee M.(2004), Transportation Network Models and Algorithms Considering Directional Delay and Prohibition for Intersection Movement, Ph.D. Thesis, University of Wisconsin-Madison.
- Rinks D. B.(1986), Revenue Allocation Methods for Integrated Transit Systems, Transportation Research A, Vol. 20A, No. 1, pp. 39-50.
- Shier R. D.(1979), On Algorithms from Finding the k Shortest Paths in a Network, Networks, Vol. 9, pp. 195-214.
- Yen J. Y.(1971), Finding the K shortest Loopless Paths in a Network, Management Science, Vol. 17, pp. 711-715.